

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/6: 1211-1221
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

USO DO SISTEMA INTERIMAGE PARA A IDENTIFICAÇÃO DE ALVOS URBANOS EM IMAGENS DO SATÉLITE WORLDVIEW II

Use of the InterIMAGE system for the Identification of Urban Targets in WorldView II Images

**Denilson Pereira Passo¹; Edilson de Souza Bias¹;
Ricardo Seixas Brites¹ & Gilson A. O. P. Costa²**

¹Universidade de Brasília - UnB
Instituto de Geociências - IG
Caixa Postal 04465 – Brasília-DF, Brasil.
{geodenilson, edbias, brites.ricado}@gmail.com

²Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – PUC - Rio
Departamento de Engenharia Elétrica
R. Marquês de São Vicente, 225 – 22453-900 Rio de Janeiro-RJ, Brasil.
gilson@ele.puc-rio.br

Recebido em 04 de Março, 2013/ Aceito em 22 de Setembro, 2013
Received on March 04, 2013/ Accepted on September 22, 2013

RESUMO

O desenvolvimento tecnológico em sensoriamento remoto vem proporcionando um grande incremento na qualidade das imagens orbitais, permitindo uma melhor visão dos ambientes intra-urbanos. Um exemplo notável é o satélite WorldView II. Lançado em 2009, suas imagens começaram a ser distribuídas comercialmente em 2010. O satélite possui uma resolução de 50cm na banda pancromática e 2m nas suas outras 8 bandas espectrais. Apesar deste extraordinário avanço em termos de resolução espacial e espectral, os sistemas tradicionais de processamento de imagens disponibilizam métodos de classificação que, via de regra, não atendem a multiplicidade de feições observadas nas imagens de alta resolução. Grande parte dessas dificuldades está relacionada às limitações dos classificadores que somente trabalham “pixel a pixel”, pois estes não conseguem tratar de forma satisfatória a variabilidade espectral dos diferentes alvos urbanos. Na busca por uma solução, surgiam recentemente pacotes de *software* que possibilitam a classificação de imagens com base em objetos e que facilitam a representação e processamento de conhecimento humano sobre as características específicas dos alvos de interesse. No entanto, a maioria dos pacotes de *software* com estas características são proprietários e de difícil acesso devido ao alto custo de suas licenças. Uma alternativa surgiu com a iniciativa de desenvolvimento *open source* do *software* InterIMAGE. No presente trabalho, o objetivo foi avaliar a eficiência da classificação baseada em objeto sobre imagens de alta resolução espacial, provenientes do satélite WorldView II, utilizando o sistema InterIMAGE, e também comparar tal classificação com a obtida através de um método tradicional, baseado em pixel, de classificação por máxima verossimilhança (MAXVER), sobre uma área-teste localizada na cidade satélite de Sobradinho-DF. A classificação baseada em objeto mostrou-se eficiente para mapear a cobertura de áreas urbanas, apresentando valores de exatidão global e índices *Kappa* e *Tau* superiores a 87%, apresentando superioridade

ao método tradicional, atestando a aplicabilidade do InterIMAGE na extração de feições em áreas urbanas a partir de imagens de alta resolução espacial.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, InterIMAGE, *Open Source*, WorldView II, Classificação, GEOBIA.

ABSTRACT

Recent technological developments in remote sensing have made possible a large increase in the quality of the satellite images, supporting a clearer view of intra-urban environments. A notable example is the satellite WorldView II. Launched in 2009, its images became commercially available in 2010. This orbital Earth observation system delivers a 50cm resolution for the panchromatic band and 2m in its 8 spectral bands. Despite this extraordinary advance in terms of spatial and spectral resolutions, traditional of image processing systems offer classification methods that cannot deal with the complexity and multiplicity of features observed in such high resolution images. An important source of these difficulties has to do with the limitations of pixel-based classifiers, since they cannot tackle satisfactorily the spectral variability of different urban targets. In search of a solution, a new class of software packages has emerged, which support object-based image classification and the representation and processing of human knowledge associated to the specific characteristics of the targets. However, most of those software packages are proprietary and of difficult access due to the high cost of their licenses. An alternative to this scenario came up with the initiative to develop open source software InterIMAGE. In this study, we aimed to evaluate the quality of object-based classification using the system InterIMAGE, and also compare it with a traditional method of classification by maximum likelihood (GML), using the pixel-based approach in an area-test located in the city of Sobradinho-DF. The classification proved efficient to map urban area coverage, with overall accuracy values, *Kappa* and *Tau* above 87%, confirming the applicability of the software for feature extraction in urban areas from very high resolution images.

Keywords: Remote Sensing, InterIMAGE, Open Source, WorldView II, Classification, GEOBIA.

1. INTRODUÇÃO

Desenvolvimentos tecnológicos no campo do sensoriamento remoto (SR) ocorridos nas últimas décadas viabilizaram o lançamento de modernas plataformas orbitais capazes de produzir imagens multi e hiperespectrais com altas resoluções espacial, temporal e radiométrica, aumentando a capacidade de identificação dos alvos e ampliando significativamente o leque de aplicações. Um exemplo notável nesse sentido é o satélite WorldView II. Lançado em 2009, suas imagens começaram a ser distribuídas comercialmente em 2010. O satélite possui uma resolução de 50cm na banda pancromática e 2m nas suas outras 8 bandas espectrais.

A evolução das plataformas tem estimulado pesquisas voltadas à criação de novas abordagens e metodologias para a classificação e extração automatizada de informações provenientes de SR.

O alto nível de detalhe espacial, espectral e radiométrico das imagens produzidas pelas novas plataformas tem motivado o desenvolvimento de novos classificadores, uma vez que os tradicionais, desenvolvidos para imagens de média e baixas resoluções e que tinham como

foco a classificação de pixels individuais, se mostraram pouco eficientes no reconhecimento automático dos alvos identificáveis nas imagens de alta resolução espacial hoje disponíveis (BLASCHKE & STROBL 2001; BLASCHKE *et al.* 2008).

Tratam-se de alvos complexos, caracterizados por uma grande variabilidade espectral e morfológica, compostos por um conjunto de pixels – e não mais recobertos por um ou alguns poucos pixels.

Foi com o objetivo de lidar com tal complexidade que um conjunto de técnicas hoje identificadas como GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis) (HAY & CASTILLA 2008) vem ganhando importância nos últimos anos. As técnicas de GEOBIA tem como foco a classificação de segmentos de imagem ao invés de pixels isolados, oferecendo meios para a representação e processamento de conhecimento humano sobre as características específicas dos alvos, como cor, textura, formato, contexto, tamanho, relações de vizinhança, entre outros. Esta nova abordagem, baseada em objeto, surge como um significativo avanço nos processos de classificação automática de imagens orbitais.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a potencialidade e a acurácia da classificação baseada em objeto em uma imagem de alta resolução espacial, proveniente do satélite WorldView II, sobre uma área urbana, utilizando o sistema de código aberto InterIMAGE (COSTA *et al.* 2008; COSTA *et al.* 2010), além de comparar os resultados com os obtidos a partir daquele sistema com um método tradicional, baseado em pixels, de classificação por máxima verossimilhança (MAXVER).

2. CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM PIXELS

Segundo Elachi e Zyl (2006), os métodos de classificação “pixel a pixel” tem como objetivo a classificação, supervisionada ou não, de pixels individuais. Tais técnicas têm como entrada usualmente apenas os números digitais associados às diferentes bandas de imagens de SR para cada pixel a ser classificado. Adicionalmente, alguma medida de textura para uma pequena vizinhança dos pixels avaliados também pode ser usada no processo de classificação. Neste trabalho foi utilizado o MAXVER, algoritmo de máxima verossimilhança, supervisionado, de uso consagrado na classificação por pixel. Em sua operação, o algoritmo leva em consideração tanto a variância quanto a covariância dos padrões espectrais associados às classes de interesse no processo de classificação (RICHARDS & JIA, 2006).

3. CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM OBJETO

Na classificação baseada em objeto os pixels são inicialmente agrupados em segmentos, regiões homogêneas (de acordo com algum critério de homogeneidade) contíguas da imagem. Os segmentos são objetos primitivos aos quais o processo de classificação atribui classes (WALTER, 2004). Além de informações espectrais (média, desvio padrão, máximo, mínimo, etc.), os segmentos de uma imagem possuem uma grande quantidade de atributos adicionais que podem ser utilizados no processo de classificação: textura, forma, contexto, relações de vizinhança, etc. A partir dessa grande quantidade de possibilidades, esta

abordagem de classificação permite que o conhecimento do especialista humano possa ser explicitado através de modelos de conhecimento bastante expressivos, com a menor incerteza possível, onde os fundamentos da *Lógica Fuzzy* podem auxiliar na tomada de decisão, pois operacionalizam um conjunto de regras que indicam em qual classe um determinado objeto seria atribuído com maior grau de assertividade (ROCHA & ANTINES 2012).

Neste trabalho o pacote de software InterIMAGE foi utilizado para a classificação baseada em objeto.

4. O SISTEMA INTERIMAGE

Dentre os pacotes de *software* de classificação baseada em objeto, destaca-se o InterIMAGE, sistema de código aberto, desenvolvido pelo Laboratório de Visão Computacional do Departamento de Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro e pelas divisões de Processamento de Imagens e de Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (COSTA *et al.* 2008).

Pahl (2003) descreve o funcionamento do *software* (fig. 1), originalmente baseado no projeto GeoAIDA. No lado esquerdo da figura são mostradas as entradas do processo de interpretação. A rede semântica representa o modelo de conhecimento definido pelo especialista humano e processado pelo sistema para a interpretação de uma cena (extensão geográfica), recoberta por uma ou mais imagens ou dados vetoriais geo-referenciados. Durante a interpretação da cena os dados de entrada são processados com o auxílio de operadores *top-down e bottom-up*. Operadores *top-down* são responsáveis por particionar a cena em sub-regiões (segmentos) e gerar hipóteses de objetos (atribuir classes aos segmentos). Operadores *bottom-up* avaliam as hipóteses de objetos, validando-as ou não e resolvendo eventuais conflitos espaciais, reunindo por fim os objetos em unidades maiores (grupos). No lado direito da figura é apresentado o resultado da interpretação, na forma de um mapa temático com nível de detalhamento dependente das especificações e escolhas do analista.

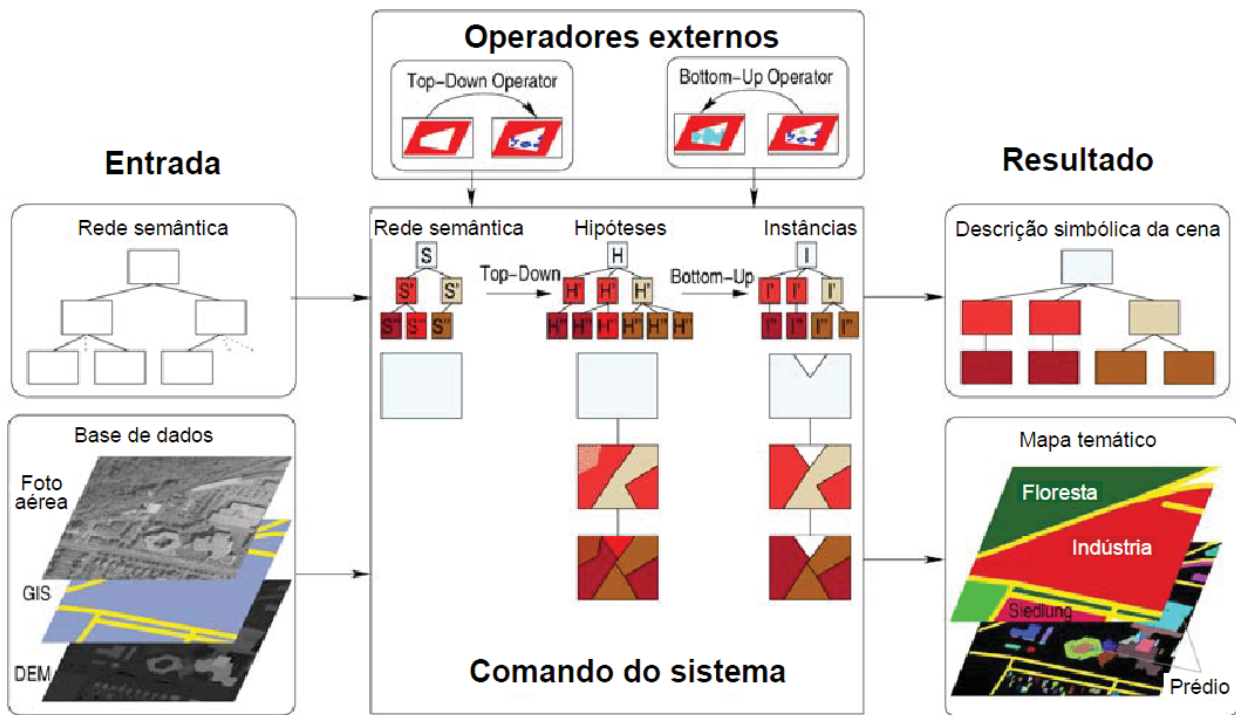


Fig. 1 - Esquema do processo de interpretação de uma cena no InterIMAGE.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no condomínio Vivendas Bela Vista, Grande Colorado, em Sobradinho, cidade satélite de Brasília (Fig. 2).

Foi definida uma área de 280.000m², levando em consideração as limitações do InterIMAGE em termos do tamanho das imagens a serem processadas e a busca por uma grande variedades de alvos urbanos.

A área de estudo é recoberta por duas imagens do sensor WorldView II, uma pancromática com resolução espacial de 0,5 m e uma multiespectral com oito bandas e resolução espacial de 2 m. Através do software ENVI 4.7 (ITT, 2009) as imagens foram submetidas a um processo de *pan-sharpening*, em que as bandas multiespectrais foram fusionadas com a banda pancromática.

Também foram utilizados no processo de classificação arquivos vetoriais no formato *ESRI Shapefile*, com polígonos das quadras e arruamentos na área de estudo, elaborados pela TERRACAP - Agência de Desenvolvimento do Distrito Federal. Para a validação dos experimentos relatados a seguir, foi realizada inicialmente uma interpretação visual da cena. O processo de interpretação visual delimitou

todos os objetos de 11 classes distintas: Asfalto, Piscina, Solo Exposto, Sombra, Cobertura de Cerâmica, Cobertura de Cerâmica Clara, Cobertura de Cimento Claro, Cobertura de Cimento médio, Cobertura de Cimento Verde, Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira.

5.2 Classificação baseada em objeto

Para a classificação baseada em objeto foi utilizado o software InterIMAGE v1.3 onde inicialmente foi definida uma rede semântica (fig. 3), cuja a organização só foi possível a partir do conhecimento da área estudada.

Em seguida, foi realizada uma segmentação específica para cada classe, utilizando-se um operador *top-down* que implementou o algoritmo desenvolvido por Baatz e Schäpe (2000), que utiliza o critério de semelhança para definir a uniformidade dos segmentos, a separação dos objetos da imagem é realizado em duas fases: pela cor, utilizando as variações das informações espectrais e pela forma, utilizando as variações das informações como, suavidade e compactação do objeto. Estes critérios controlam a homogeneidade dos segmentos e regiões possibilitando a construção de objetos com a forma o mais parecido possível com a referência. Na sequência foram criadas e inseridas regras de decisão em cada nó da rede semântica, definidas

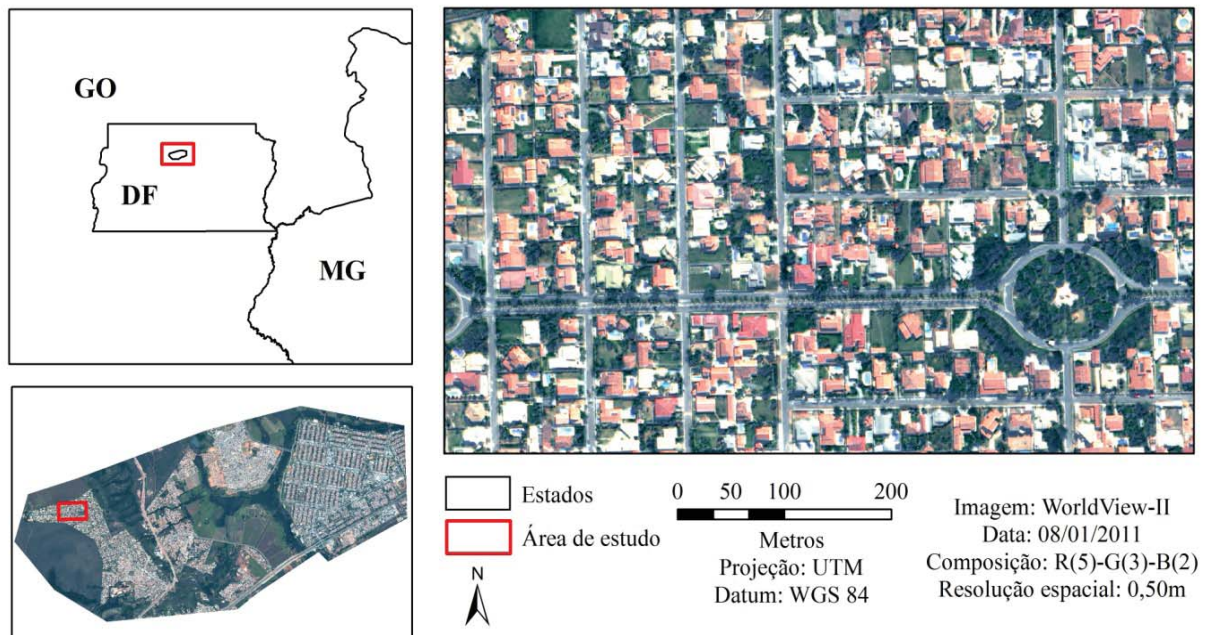


Fig. 2 - Localização da área de estudo.

a partir da análise dos valores espectrais nas diferentes bandas da imagem WorldView II (fusonda) e das características específicas de cada alvo. Esta etapa foi realizada por meio das respostas encontradas no recurso *Analysis Manager* do InterIMAGE, que permite o refinamento dos resultados através da análise de histogramas de atributos calculados para segmentos de imagem. A figura 4 apresenta um exemplo deste recurso, onde pode-se observar um limiar entre duas modas do histograma resultante da divisão dos valores digitais da banda 4 pela banda 3 do sensor WorldView II, posteriormente esta informação foi usada na regra de decisão para separar a classe Solo Exposto da classe Vegetação Rasteira. Paralelamente, foi introduzido o conhecimento do analista nas regras de decisão para separação de alvos da cena. Desta forma, o resultado da classificação foi obtido a partir das informações coletadas a priori sobre a área a ser classificada.

5.3 Classificação “pixel a pixel” MAXVER

A classificação MAXVER foi realizada através do *software* ENVI 4,7. Como esta metodologia consiste de uma classificação supervisionada, inicialmente foram selecionadas amostras de treinamento, respeitando-se as classes selecionadas na rede semântica (Fig. 3), ou seja, foram individualizadas 11 classes

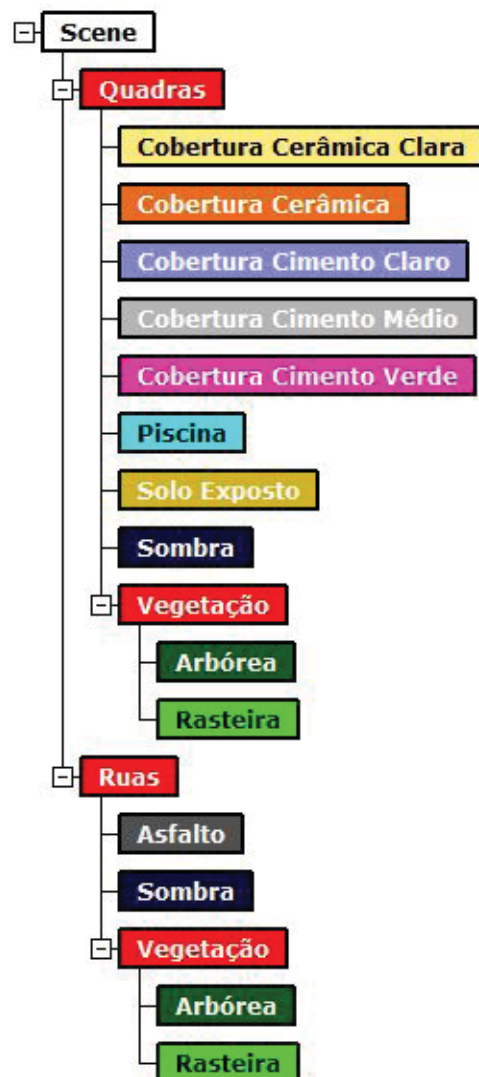


Fig. 3 - Estrutura da rede semântica.

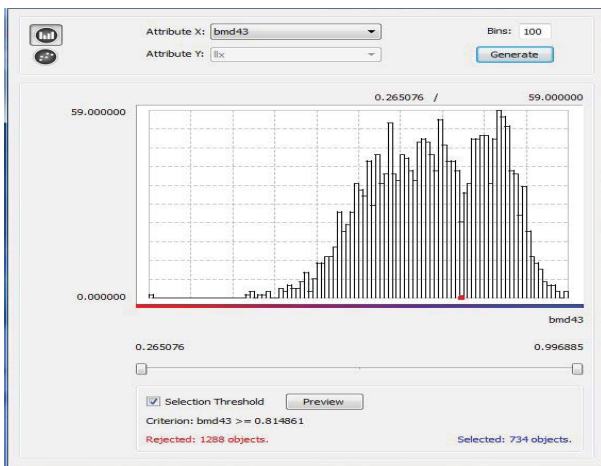


Fig. 4 - Exemplo de separação de classes por curva inflexão no histograma do atributo “divisão da banda 4 pela banda 3”. Recurso *Analysis Manager*.

conforme a listagem a seguir: Asfalto, Piscina, Solo Exposto, Sombra, Cobertura de Cerâmica Clara, Cobertura de Cerâmica, Cobertura de Cimento Claro, Cobertura de Cimento Médio, Cobertura de Cimento Verde, Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira.

Um conjunto de amostras para cada classe, representativas em relação à sua heterogeneidade interna, foram selecionadas por um fotointérprete experiente, que posteriormente foram submetidas ao algoritmo MAXVER, resultando na imagem classificada.

Para melhorar o resultado e reduzir o efeito sal e pimenta, foi utilizado um método para a eliminação de ruídos da classificação, onde se aplicou o algoritmo *Majority/Minority Analysis* do ENVI 4,7 com janelas de 3x3, que realiza um filtro de moda, num processo de extração de pixels isolados.

5.4 Avaliação das classificações

Para todas as classificações foram efetuadas as análises da acurácia temática, ou seja, foram feitas as avaliações das precisões das diferentes categorias que compõem as classificações. Para realização estas avaliações, foram seguidos os seguintes passos: cálculo para número de amostras; seleção aleatória de pontos para checagem; checagem por interpretação visual; verificação da exatidão (matriz de confusão); cálculos de coeficientes de concordância de forma geral e por classe.

Utilizando o pixel como unidade amostral, foi calculado o número de amostragens utilizando

uma distribuição multinominal (CONGALTON & GREEN, 1999), já que leva em consideração o número de classes e a proporção da classe com maior área na classificação.

O número ideal de amostras encontrado para a avaliação das classificações foi 682 amostras, que foram aleatoriamente especializadas na área teste. Em seguida foram atribuídas às respectivas classes encontradas por interpretação visual

Os pontos de amostragem foram utilizados como dados de referência (verdade de campo), para compor a matriz de confusão, a qual possibilitou calcular os índices de exatidão de concordância total concordância por classe.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visualmente nota-se uma coerência tanto na classificação baseada em objeto (1) quanto na classificação “pixel a pixel” (2) (fig. 5), quando comparadas à referência da imagem WorldView II (fig. 6). De maneira geral, a classificação baseada em objeto obteve índices de exatidão mais elevados.

A acurácia dos resultados das classificações foi avaliada por meio de matriz de confusão, de onde foram extraídos os coeficientes de concordância para a avaliação da acurácia total: índice *Kappa* (COHEN, 1960), índice Tau (KLECKA, 1980) e Exatidão Global (HELLDEN, *et al.*, 1980). Também foi avaliado coeficiente de concordância para avaliação da acurácia para classes individuais, onde se calculou *Kappa* condicional (BISHOP *et al.* 1975).

As tabelas 1 e 2 apresentam as matrizes de confusão das classificações, que revelam elevados valores de exatidão global, índice *Kappa* e índice Tau, respectivamente 87,5%, 86% e 86,3% para a classificação baseada em objeto e 83,7%, 81,8% e 82,1% para a classificação por pixel. Segundo Landis e Koch (1977) (tabela 3), *Kappa* superior a 80% representa um excelente desempenho do índice.

A avaliação da acurácia para classes individuais resultou em valores de índice *Kappa* condicional altos (tabela 4), o que representa uma boa separação das classes em ambos os métodos. Entretanto a classificação baseada em objeto mostrou-se superior para quase todas as classes quando comparado ao método baseado em pixel (a menos das classes Cobertura de Cerâmica,

Sombra e Vegetação Rasteira).

A classe Sombra representa áreas mais escuras da imagem, ou seja, áreas com média de valores espectrais mais baixos. Como sua identificação foi feita basicamente pela ausência de brilho das bandas da imagem, as classes que apresentaram confusão em relação a ela foram classes cuja média, em algum momento, se aproximou de seus valores, como a classe Asfalto, Cobertura de Cimento Médio, Cobertura de Cerâmica e Vegetação Arbórea. Apesar do bom resultado da classificação por objeto, com

relação à classe Sombra, a metodologia por pixel obteve melhor separação.

A classe Cobertura de Cimento, com Pigmentação Verde, por ter uma resposta bem peculiar em relação aos outros alvos, apresentou uma boa separação das demais, nas duas classificações. Observando-se a tabela 4, o índice o *Kappa* condicional foi igual a 1 nas duas metodologias, o que significa que houve uma excelente separação dela em relação às demais classes.

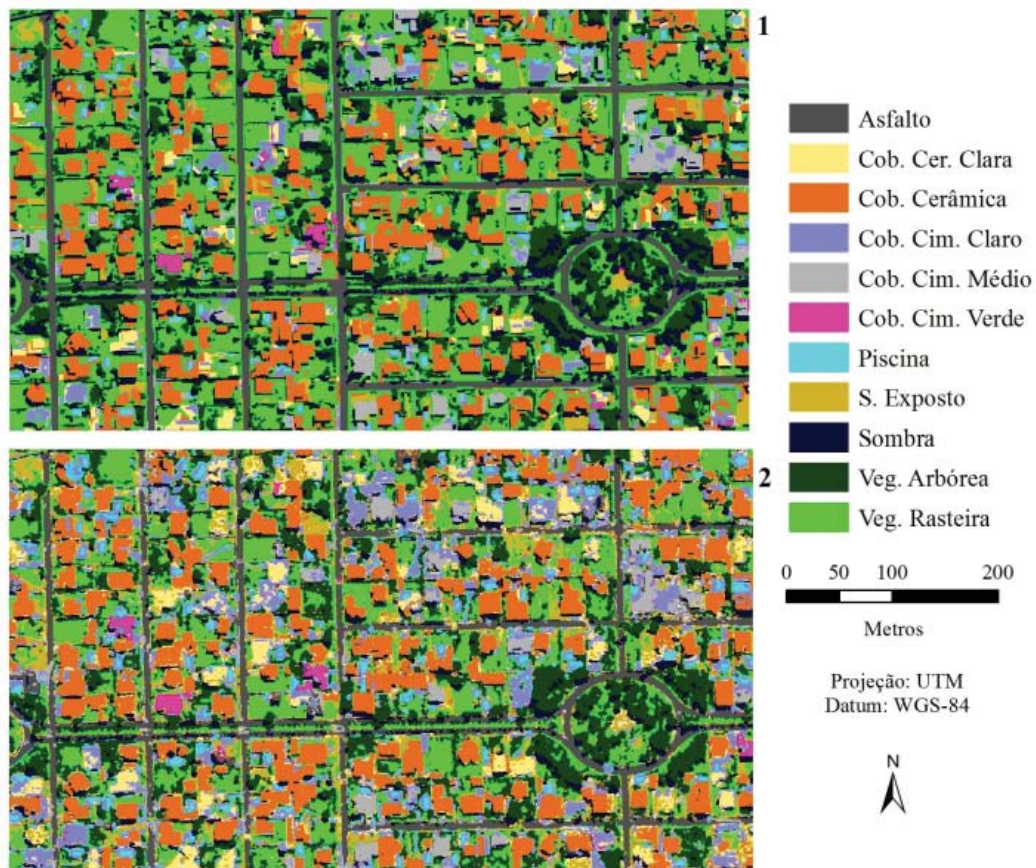


Fig. 5 - Mapa temático resultante das classificações (1) baseada em objeto e (2) "pixel a pixel".



Fig. 6 - Imagem WorldView II da área de estudo, composição: R(5)-G(3)-B(2).

Tabela 1: Matriz de confusão da classificação baseada em objeto.

Classificação \ Referência (Verdade)												
	Asfalto	Cobertura de Cerâmica Clara	Cobertura de Cerâmica	Cobertura de Cimento Claro	Cobertura de Cimento Médio	Cobertura de Cimento Verde	Piscina	Solo Exposto	Sombra	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Total
Asfalto	77											77
Cobertura de Cerâmica Clara		36	1	7				2				46
Cobertura de Cerâmica		8	80		1	1		4			1	95
Cobertura de Cimento Claro		9		43				1				53
Cobertura de Cimento Médio				1	38	3	2					44
Cobertura de Cimento Verde						15						15
Piscina							35					35
Solo Exposto		2	3					33			1	39
Sombra	3	1	1		1				61		1	68
Vegetação Arbórea	1								2	70	8	81
Vegetação Rasteira					2			11	2	5	109	129
Total	81	56	85	51	43	18	37	51	65	75	120	682

Tabela 2: Matriz de confusão da classificação “pixel a pixel”.

Classificação \ Referência (Verdade)												
	Asfalto	Cobertura de Cerâmica	Cobertura de Cerâmica	Cobertura de Cimento	Cobertura de Cimento	Cobertura de Cimento	Piscina	Solo Exposto	Sombra	Vegetação Arbórea	Vegetação Rasteira	Total
Asfalto	67				5				3			75
Cobertura de Cerâmica Clara		44	1	10				7				62
Cobertura de Cerâmica			82		2			6	2		1	93
Cobertura de Cimento Claro	2	3		40	4	4		5			1	59
Cobertura de Cimento Médio	6			1	29							36
Cobertura de Cimento Verde						15						15
Piscina							37		1			38
Solo Exposto	2	9	1		1			33			7	53
Sombra	1		1		1				55		1	59
Vegetação Arbórea	2								4	75	16	97
Vegetação Rasteira	1										94	95
Total	81	56	85	51	43	18	37	51	65	75		

Tabela 3: Qualidade da classificação associada ao índice *KAPPA*.

Índice <i>Kappa</i>	Desempenho
$k < 0$	Péssimo
$0 < k \leq 0,2$	Ruim
$0,2 < k \leq 0,4$	Razoável
$0,4 < k \leq 0,6$	Bom
$0,6 < k \leq 0,8$	Muito Bom
$0,8 < k \leq 1,0$	Excelente

A semelhança espectral das classes Vegetação Arbórea e Vegetação Rasteira causou certa mistura entre estes alvos nas duas classificações, resultados semelhantes também foram encontrados em outros em estudos de classificação da cobertura do solo em áreas urbanas (RIBEIRO, 2011; NOVACK e KUX, 2010; PINHO, 2005).

Quando observa-se a matriz de confusão, nota-se que esta mistura ocorreu em maior proporção na classificação por pixel, principalmente no caso da Vegetação Arbórea, o que foi refletido diretamente no valor de seu *Kappa* condicional. Outro fato que chamou a atenção foi a mistura espectral da Vegetação Arbórea com a classe Sombra, visualmente, na imagem (fig. 6).

Algumas árvores apresentam uma coloração escura, o que poderia explicar esta mistura. Na classificação com orientação a objeto, a classe Vegetação Rasteira apresentou mistura com a classe Solo Exposto, o que pode ter ocorrido devido a algumas áreas apresentarem vegetação rasteira bem rala ou seca, em virtude da época do ano, expondo o solo e dificultando a separação espectral das classes. Neste caso, a classificação por pixel foi mais eficiente, apresentando um melhor índice de *Kappa* condicional.

A classe Asfalto, na classificação baseada em objeto, teve a sua separação tão bem sucedida em virtude da utilização de um arquivo *shapefile* que serviu como máscara, o que resultou em um *Kappa* condicional máximo.

As classes Solo Exposto, Cobertura de Cerâmica e Cobertura de Cerâmica Clara, por possuírem respostas espectrais muito semelhantes, foram as que mais se confundiram entre si. Todavia a vantagem de se trabalhar com o sensor WorldView II na classificação baseada em objeto, reside no seu número de bandas, possibilitando a exploração destas classes, particularizando cada uma delas. Já na

classificação por pixel a classe Solo Exposto foi a classe que mais contribuiu para redução dos índices que avaliaram a classificação de forma geral, por apresentar grande mistura quando comparada com as demais, resultando no *Kappa* condicional mais baixo de todas as classes.

As classes de Cobertura de Cimento Clara e Cobertura de Cimento Médio também apresentaram bons resultados nas duas classificações. Quando avaliadas individualmente, ambas apresentaram uma boa separação das demais classes, especialmente na classificação com orientação a objeto, que mais uma vez apresentou índices superiores.

A classe Piscina também foi bem separada das demais, tanto na classificação baseada em objeto quanto na classificação por pixel.

Tabela 4: *KAPPA* condicional para as onze classes.

CLASSE	Kappa condicional da classificação por	
	objeto	pixel
Asfalto	1	0,88
Cobertura de Cerâmica Clara	0,76	0,68
Cobertura de Cerâmica	0,82	0,86
Cobertura de Cimento Claro	0,80	0,65
Cobertura de Cimento Médio	0,85	0,79
Cobertura de Cimento Verde	1	1
Piscina	1	0,97
Solo Exposto	0,83	0,59
Sombra	0,89	0,93
Vegetação Arbórea	0,85	0,75
Vegetação Rasteira	0,81	0,99

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da classificação baseada em objeto sobre imagens de alta resolução espacial, provenientes do satélite WorldView II, utilizando o sistema InterIMAGE. A avaliação dos resultados revelou a eficiência da classificação baseada em objeto, quando comparada à classificação por pixel (MAXVER), uma vez que foram encontrados valores dos índices de exatidão global, *Kappa* e Tau superiores.

Os resultados também demonstraram que a abordagem baseada em objeto, é uma alternativa

promissora para a redução do problema da mistura espectral, encontrado em classificadores tradicionais, principalmente quando se trabalha com imagens do WorldView II, pois seu número de bandas permite uma melhor separação das classes, auxiliando na redução dos efeitos decorrentes da mistura espectral.

O sistema InterIMAGE mostrou-se uma boa alternativa para análises de imagens baseadas em objeto, além de ser uma iniciativa de desenvolvimento *open source*. Como fator limitador da versão do InterIMAGE usada neste trabalho, destacamos a dificuldade de realizar análises em grandes áreas, pois o software apresenta uma limitação quanto ao número de segmentos gerados. Apesar disso, o InterIMAGE permite que o modelo de conhecimento usado na interpretação possa ser depurado e melhorado, através da introdução de mais conhecimento acerca das classes de interesse. Além disso, uma vez que o conhecimento está explicitamente representado, o modelo pode ser disseminado, analisado e criticado por uma comunidade de usuários.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation**. In: XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung, Agit Symposium, Salzburg, Áustria, 2000. **Proceedings...** Karlsruhe, Alemanha: Herbert Wichmann Verlag, 2000. p. 12-23.

BISHOP, Y. M.; FEINBERG, S. E. & HOLLAND, P. W. **Discrete Multivariate Analysis - Theory and Practice**. Cambridge, Mass., the mit press, 357 p., 1975.

BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G. J. **Object-based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer-Verlag, Berlin, 818p, 2008.

BLASCHKE, T.; STROBL, J. **What's wrong with pixels?: Some recent developments interfacing remote sensing and GIS**. GeoBIT 6 (6), 12-17. 2001

COHEN, J. A. **Coefficient of Agreement for Nominal Scales**. Educational and Measurement. Vol XX, No 1, p. 37- 46, 1960.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 1999. 137 p.

COSTA, G. A. O. P.; FEITOSA, R. Q.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B.; FERREIRA, R. S.; CASTEJON, E. F. **Knowledge-Based Interpretation of Remote Sensing Data with the Interimage System: Major Characteristics and Recent Developments**. In: **Proceedings of the 3rd International Conference on Geographic Object-Based Image Analysis - GEOBIA 2010**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXVII. ITC, Enschede. 2010.

COSTA, G. A. O. P.; PINHO, C. M. D.; FEITOSA, R. Q.; ALMEIDA, C. M., KUX, H. J. H.; FONSECA, L. M. G.; OLIVEIRA, D. A. B. **INTERIMAGE: Uma Plataforma Cognitiva Open Source para a Interpretação Automática de Imagens Digitais**. Revista Brasileira de Cartografia 60, 331-337. 2008

ELACHI C.; AND ZYL J. **Introduction to the Physics and Techniques of Remote Sensing**. John Wiley & Sons, Inc. 2006. 552 p.

HAY, G. J., CASTILLA, G., **Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline**. In: T. Blaschke, S. Lang & G. J. Hay (eds.): **Object-Based Image Analysis – Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications**, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. Springer-Verlag, Berlin, 75-89. 2008.

HELLDEN, U. & STERN, M. **Evaluation of Landsat Imagery and Digital Data for Monitoring Desertification Indicators in Tunisia**. Proc. 14th. Int. Symp. on Rem. Sens. of Environ., p. 1601-1611, 1980.

ITT VISUAL INFORMATION SOLUTIONS.

- ENVI 4.7, version 4.7.** Boulder, Colorado, EUA, 2009.
- KLECKA, W. R. **Discriminant Analysis.** SAGE Publications, Inc., Beverly Hills, California, 71 p., 1980.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The Measurement of observer agreement of categorical data.** *Biometrics*, v. 33, n. 1, p.159- 174, 1977.
- NOVACK, T.; KUX, H. J. H. **Urban land cover and land use classification of an informal settlement area using the open-source knowledge-based system InterIMAGE.** *Journal of Spatial Science*, v. 55, n. 1, p.23-41. 2010.
- PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para a interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores.** 2003. Dissertação (*Doktor-Ingenieur* em Eletro-Técnica e Tecnologia de Informação). Universidade de Hannover, Hannover, Alemanha, 2003. Tradução: KUX, H. J. H.; FEITOSA, R. Q. 2008. 93 p. INPE-15211-TAE/71. INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- PINHO, C. M. D. **Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intraurbano: o caso de São José dos Campos.** 2005. 180 p. INPE-14183-TDI/1095. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- RIBEIRO, B. M. G; FONSECA, L. M. G; KUX, H. J. H. **Mapeamento da Cobertura do Solo Urbano utilizando IMAGENS WorldView-II e o Sistema InterIMAGE .** *Revista Brasileira de Cartografia (Impresso)*, v 63, p. 51-63, 2011.
- RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote sensing digital image analysis: An introduction.** 4 ed. New York, Springer, 2006. 476 p.
- ROCHA A. D.; ANTUNES A. F. B. O. **Desafio de Caracterizar Objetos Relevantes ao Planejamento Urbano a Partir de Imagens de Satélite de Alta Resolução.** *Revista Brasileira de Cartografia* 64/2, 135-147. 2012.
- WALTER. V. **Object-based classification of remote sensing data for change detection.** *Int. Journal of remote sensing* 58:225-238, 2004.